

Hydraulische Antriebe in Traktoren und Landmaschinen

Hagen Neurath, Kerstin Ritters, Lennart Roos, Thees Vollmer
Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge

Kurzfassung

Die stetige Verbesserung der Effizienz hydraulischer Antriebe in Traktoren und Landmaschinen ist nötig, um diese wettbewerbsfähig zu halten. Auf der Ebene der Systeme werden hier Ansätze verfolgt, mehr Funktionen in das System zu integrieren bzw. über Verlustvermeidung oder Senkung des Primärenergiebedarfs die Effizienz zu steigern. Auch in der Hybridtechnik konnten neue Impulse gesetzt werden.

Schlüsselwörter

Load-Sensing, hydraulische Hybridtechnik, aufgelöste Steuerkanten, Verstellpumpen

Hydraulic drives in tractors and agricultural machinery

Hagen Neurath, Kerstin Ritters, Lennart Roos, Thees Vollmer
TU Braunschweig, Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles

Abstract

To provide the competitiveness of hydraulics a continuous improvement of the efficiency of hydraulic drives in tractors and other agricultural machinery is needed. On the level of systems approaches are taken which integrate more functions into the system or increase the efficiency by lowering the losses or the needed primary energy. Furthermore in the field of hydraulic hybrids new developments and use principles can be observed.

Keywords

Load-Sensing, hydraulic hybrids, independent metering, variable displacement pumps

Einleitung

Im vergangenen Geschäftsjahr 2016 verzeichnete die Hydraulikbranche wieder ein Umsatzwachstum von 1 %, nachdem der Umsatz im Vorjahr zurückging. Hierbei konnte vor allem ein gutes letztes Quartal die Jahresbilanz aufwerten. Für das kommende Jahr 2017 geht der VDMA Fluidtechnik von einem ähnlichen Wachstum aus. [1]

Die inländische Landtechnik ist jedoch im vergangenen Jahr von seinem Platz als zweitgrößte Abnehmerbranche für Hydraulik heruntergerückt und stellt mit einem Anteil von ca. 12 % des Umsatzes nur noch die drittgrößte Branche, nach den Bau- und Baustoffmaschinen sowie der Fördertechnik, dar. [2]

Maßgebende Tagungen im Berichtszeitraum waren das 10. Internationale Fluidtechnische Kolloquium (IFK) in Dresden, das 9. Mobilhydraulik-Kolloquium in Karlsruhe sowie die 74. Tagung LAND.TECHNIK (VDI-MEG) in Köln.

Arbeitshydraulik

Die Arbeitshydraulik von Traktoren ab mittlerer Ausstattung wird typischerweise als Load-Sensing-System mit Verstellpumpe ausgeführt. Je nach Anwendung kann jedoch auch ein lastrückmeldendes Systemverhalten vorteilhaft sein. Am FLUMES der Universität Linköping wurde deshalb eine neue Systemarchitektur entwickelt, mit der durch ein einziges Hydrauliksystem sowohl Load-Sensing, Open-Center und bedarfsstromgeregelter Systeme als auch Mischformen von ihnen nachgestellt werden können. Hierzu werden eine elektrisch angesteuerte Verstellpumpe und Closed-Center-Ventile eingesetzt. Der Bediener kann das Systemverhalten über zwei Parameter einstellen: Ein Parameter entscheidet, wie stark die Pumpe druck- oder volumenstromgeregelt wird, der andere bestimmt die Lastabhängigkeit des Systems. Zusammen mit aktuellen Systemgrößen dienen die Bedienerparameter als Eingangsgrößen für die Controller, welche den Schwenkwinkel der Pumpe und darüber das Systemverhalten steuern. Hervorzuheben ist, dass die beiden Bedienerparameter auch während des Betriebs angepasst werden können. [3]

Im Vergleich zu Konstantstrom- und Konstantdrucksystemen weisen Load-Sensing-Systeme mit Verstellpumpe bei wechselnden Betriebspunkten geringere Verluste auf. Werden mehrere Verbraucher mit unterschiedlichen Druckniveaus durch ein gemeinsames LS-System versorgt, geht an den Druckwaagen durch Drosselung dennoch ein nennenswerter Leistungsanteil verloren. Um diesen zu reduzieren, wurde am MOBIMA in Karlsruhe ein neues Hydrauliksystem entwickelt, bei dem die Rücklaufleitungen der Verbraucher mit niedrigem Druckniveau mit einem hydraulischen Speicher verbunden werden können. Durch die Vorspannung sinken die Druckdifferenzen an den Druckwaagen und damit die Drosselverluste. Die gespeicherte Energie kann simultan an anderen Stellen im Hydrauliksystem oder zu einem späteren Zeitpunkt wieder genutzt werden. Das Umschalten zwischen Tank und Hydrospeicher erfolgt belastungsabhängig durch ein neu entwickeltes, hydraulisch betätigtes Schaltventil, welches im Rücklauf des Verbrauchers eingesetzt wird. [4]

Da mit steigendem Leistungsbedarf eines Anbaugerätes die Traktor-Arbeitshydraulik zum Betrieb nicht ausreichend dimensioniert sein kann, wird in solchen Fällen auf dem Gerät eine über die Zapfwelle angetriebene Hydraulikanlage installiert, die unabhängig von der des Traktors ist. Damit verfügt der Maschinenverbund über einen zum Teil redundanten Aufbau. Um diesen Mehraufwand zu verringern, stellte Grimme eine neue Systemarchitektur vor, die die Eigenhydraulik eines Kartoffelroders mit der Traktorhydraulik verbindet. Diese geräteeigene Hydraulik besteht aus einer Konstantpumpe, die über die Zapfwelle des Traktors angetrieben wird, und einer Reihe von Ventilen. Die Pumpe fördert das Ölvolumen im geschlossenen Kreis zu rotatorischen Verbrauchern der Maschine. Zur Kühlung und Filterung des Öls der Eigenhydraulik wird im Rücklauf zur Pumpe ein Spülventil eingesetzt, worüber das Öl in den offenen Kreis der Traktorhydraulik gelangt und so gekühlt und gefiltert wird. Eine auftretende Über- oder Unterversorgung wird über die Traktorhydraulik ausgeglichen. Im Praxistest hat sich das System als funktionstüchtig erwiesen. [5]

Hydraulische Hybridsysteme

Rekuperationssysteme stehen insbesondere bei Maschinen hoher bis mittlerer Leistungsklasse und rotatorischen Verbrauchern im Fokus von Forschung und Entwicklung [6]. Bei diesen können durch hohe Verzögerungsraten deutlich höhere Brems- als Beschleunigungsleistungen auftreten. Mit ihrer hohen Leistungsaufnahme eignen sich Hydraulikspeicher für diese Anwendungen besonders gut. Ein weiterer Vorteil ist die direkte Nutzbarkeit der Energie, wodurch Wandlungsverluste reduziert werden können.

Dass der Blick auf translatorische Aktuatoren lohnenswert sein kann, zeigen neben dem im STEAM Forschungsprojekt entwickelten Bagger auch bereits in der Anwendung befindliche Maschinen. Diese Bagger nutzen die potentielle Energie des Auslegers, um diese im Absenkprozess zu rekuperieren. Hierzu wird in den Anwendungen mindestens ein Druckniveau gewählt, auf dem jeweils ein Druckspeicher arbeitet. Um die Antriebsarchitekturen möglichst kompakt und einfach zu halten, wird im Rekuperationssystem auf vorhandene, diskrete Druckniveaus gedrosselt. Um diese Verluste möglichst gering zu halten, existieren mehrere Konzepte. Neben der Zylindereinspannung und Verwendung von mehreren Druckniveaus (STEAM Forschungsprojekt [7]), was reglungstechnische Herausforderungen mit sich bringt, besteht die Möglichkeit, die Anzahl der Wirkflächen zu erhöhen. Dies kann entweder über mehrere Wirkflächen innerhalb eines Zylinders oder über einen zusätzlichen Zylinder erreicht werden. Wird ein System mit mehreren diskreten Druckniveaus aufgebaut, muss pro Druckniveau ein Druckspeicher zur Verfügung stehen, was mit einem hohen Bauraumbedarf verbunden ist.

Als kompaktere Alternative präsentierte HYDAC zwei Speicherkonzepte, vgl. **Bild 1**. Beide Konzepte basieren auf dem Prinzip des Kolbenspeichers, arbeiten aber mit unterschiedlich vielen Druckkammern und Ventiltechnik. Das Konzept I entstammt der Digitalhydraulik. Hierbei werden durch acht 2/2-Wegeventile zwölf verschiedene Druckniveaus erzeugt, wobei die Druckstufen zwischen $\frac{4}{15} p_{\text{Gas}}$ und p_{Gas} liegen können. Im Vergleich hierzu bietet das Konzept II, das auf einem doppelten Kolbenspeicher basiert, drei Druckstufen unter Verwendung von vier 2/2-Wegeventilen. [8]

Durch Simulationen eines Gabelstaplereinsatzes konnte gezeigt werden, dass je nach Wahl der Flächenverhältnisse von Konzept II das gleiche Energierückgewinnungspotential erreicht werden kann wie bei Konzept I. Während sich Konzept II durch den im Vergleich zu Konzept I einfachen und kompakten Aufbau auszeichnet, bietet das Konzept I durch die fünf Druckkammern eine bessere Anpassungsfähigkeit an stark variierende Lasten. [8]

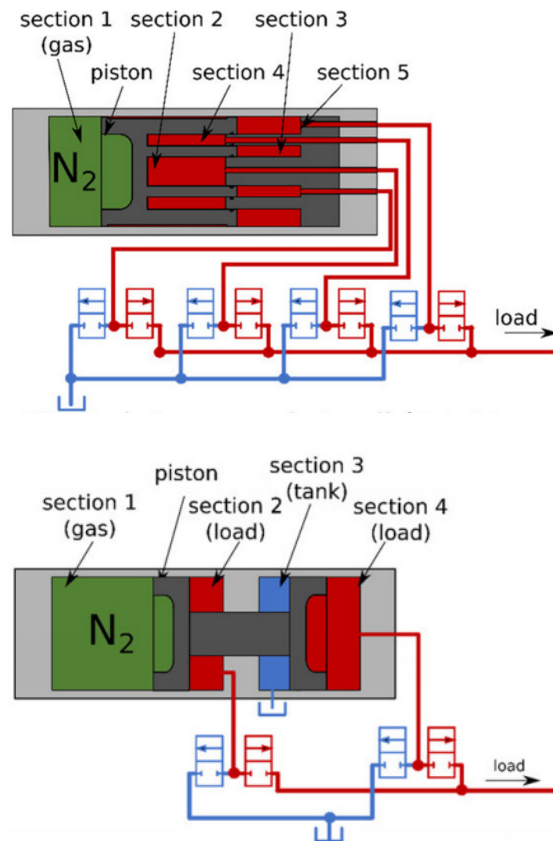


Bild 1: Mehrkammerkonzepte der Firma HYDAC (v.l.n.r.: Konzept I, Konzept II) [8]

Figure 1: Multichamber concepts of HYDAC (f.l.t.r.: Concept I, Concept II) [8]

Aufgelöste Steuerkanten

Bisher kann noch kein Serieneinsatz von aufgelösten Steuerkanten in Mobilapplikationen beobachtet werden, daher sind weiterhin Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten nötig. Herausfordernd sind die Abstimmung von Druck- und Volumenstromregelung beim Wechsel von aktiven und passiven Lasten sowie eine Realisierung mit kostengünstigen Komponenten und wenigen Sensoren. Ein möglichst kostengünstiges Konzept wird vom IFD der TU Dresden [9] verfolgt, welches nur einen Hochdrucksensor und drei Wegaufnehmer pro Sektion erfordert. Sämtliche Drücke werden modellbasiert ermittelt. Es zeigt sich, dass ein lineares Reglerkonzept für eingeschränkt dynamische Aktivitäten funktionsfähig ist, obwohl die verwendeten Proportionalventile nur eine geringe Dynamik und eine deutliche Hysterese besitzen. Für schnelle Betriebspunktwechsel ist eine sehr genaue Abstimmung der Ansteuerung der aktiven Steuerkanten erforderlich, um Druckspitzen und/oder Kavitation zu vermeiden. Dazu ist in jedem Fall eine höhere Ventildynamik wünschenswert.

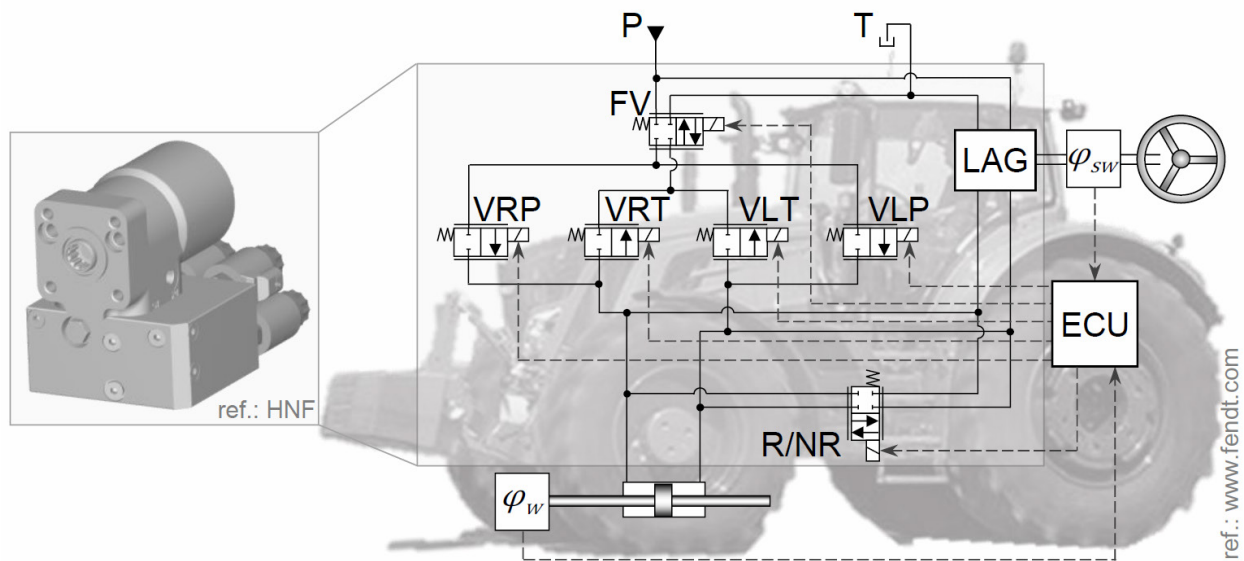


Bild 2: Elektrohydraulische Überlagerungslenkung mit aufgelösten Steuerkanten [10]

Figure 2: Electro-hydraulic active steering system using superimposition and independent metering [10]

Nicht nur die Verwendung aufgelöster Steuerkanten in Arbeitsantrieben wird derzeit untersucht, sondern auch der Einsatz in elektrohydraulischen Lenksystemen [10], vgl. **Bild 2**. Es wird ein Ansatz diskutiert, der eine elektrohydraulische Überlagerung eines konventionellen Orbitrols vorsieht, weshalb sicherheitskritische Komponenten nicht redundant ausgeführt werden müssen, wie bei reinen Steer-by-Wire-Systemen. Der Ansatz umfasst vier 2/2-Wege-Proportionalventile zur individuellen Versorgung der Ringkammern des Lenkzylinders mit Pumpen- oder Tankdruck, sowie zwei weitere Ventile zur (De-)Aktivierung der Überlagerung bzw. zur Umschaltung zwischen Reaction- und Non-Reaction-Charakteristik. Überdies werden ein Drehwinkelsensor am Lenkrad und ein Winkelsensor am Lenkgestänge benötigt. Neben der Möglichkeit der Umsetzung einer variablen Lenkübersetzung zeichnet sich das System durch eine Leckagekompensation bei permanenter Querkraft (z.B. Hangfahrt oder ungleiche Radzugkräfte) aus. Ferner kann eine definierte Lenkradneutralposition eingehalten werden, was bei konventionellen Orbitrolsystemen bislang nicht möglich ist. Eine stufenlose Veränderung der Lenkübersetzung sowie die Umschaltung von Reaction auf Non-Reaction-Verhalten kann geschwindigkeitsabhängig umgesetzt werden.

Fahrhydraulik

In Fahrzeugen mit hydrostatischen Fahrtrieben wird bei hydrostatischen Bremsungen das Bremsmoment des Dieselmotors genutzt. Um diesen vor Überdrehen zu schützen, wurde bereits 2014 von Danfoss ein Konzept vorgestellt, wonach im Rücklauf der Hydraulikpumpe eine zusätzliche Drossel integriert wird, die den Pumpendruck auf einen eingestellten Wert einregelt. Aufgrund der Druckregelung auf einen festen Wert kann dieses System jedoch nicht auf unterschiedliche Lastanforderungen an den Dieselmotor reagieren. Soll dieser bei-

spielsweise während des Bremsens einen anderen Verbraucher aktiv antreiben, so kann die Bremsenergie dazu nicht genutzt werden. In einer Weiterentwicklung wurde das System deshalb so angepasst, dass nun keine Druck- sondern eine Drehzahlregelung erfolgt. Hierzu wird in das bestehende Konzept eine zusätzliche Vorsteuerstufe integriert, die über den Pumpendruck die Dieselmotor- bzw. Pumpendrehzahl einregelt (siehe **Bild 3**). Um die Bremse bei Rückwärtsfahrt zu deaktivieren, wird ein Fahrtrichtungsventil eingesetzt. Als Regelgröße kann entweder das CAN-Signal der Motordrehzahl dienen oder in einer rein hydraulischen Variante der Speisedruck. [11]

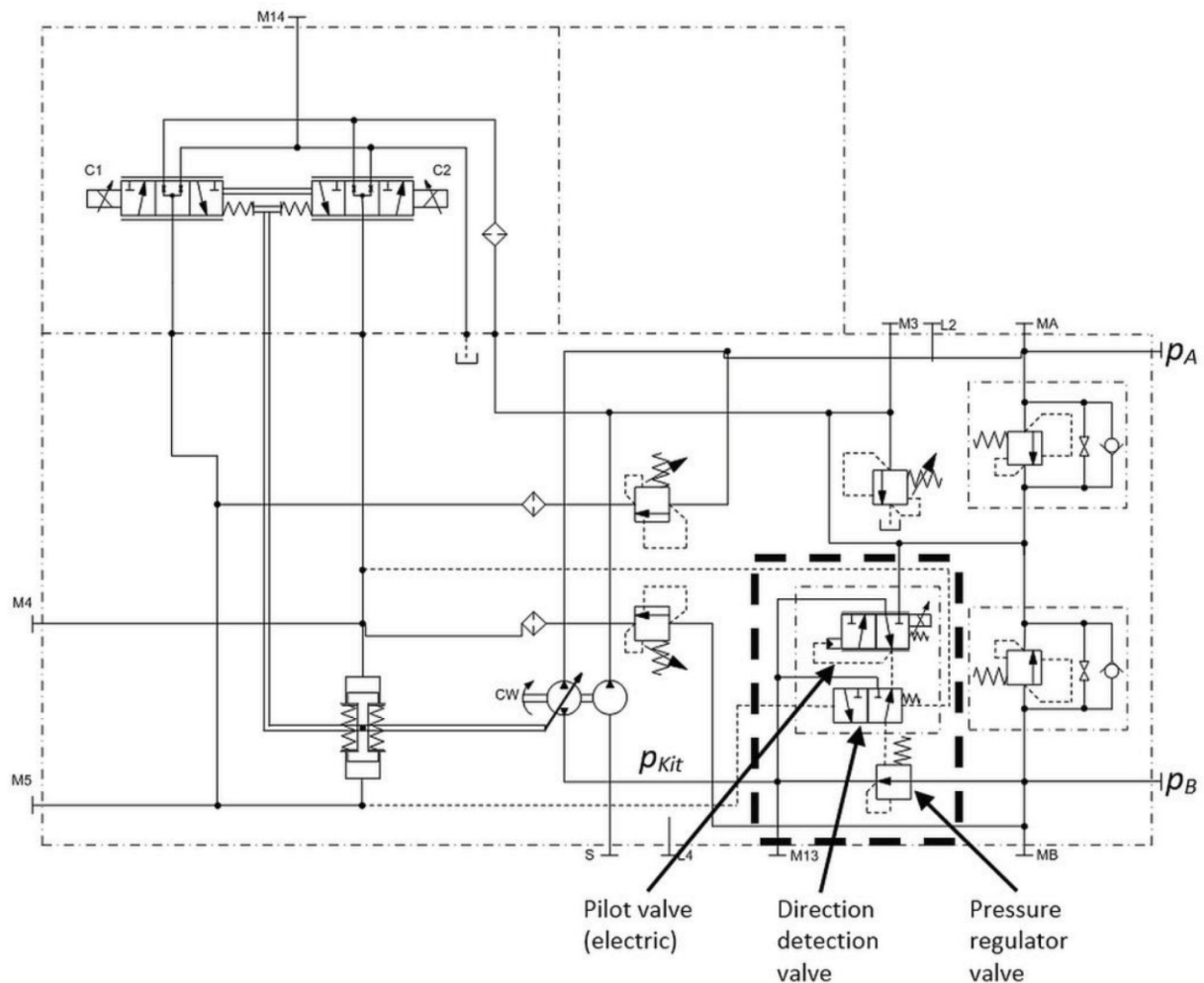


Bild 3: Drehzahlgeregeltes hydraulisches Bremssystem [11]

Figure 3: Speed controlled hydraulic brake system [11]

Ein weiterer Aspekt, mit dem Danfoss sich befasst, ist die Verstellstrategie der Pumpe im Fahrantrieb. Die Ausschwenkung der Pumpe wird über den Servodruck bestimmt, der entweder gesteuert oder geregelt werden kann. Durch die Steuerung kann das Hubvolumen durch äußere Lasten beeinflusst werden, was vorteilhaft beim automotiven Fahren ist. Mit einer Regelung ist dagegen eine genaue Einstellung der gewünschten Fahrgeschwindigkeit möglich. Da mobile Maschinen je nach Einsatzfall unterschiedlichen Anforderungen unterliegen, ist eine mögliche Auswahl zwischen beiden Verstellstrategien vorteilhaft. Eine einfache,

reaktionsschnelle Hardwarelösung, mit der zwischen beiden gewechselt werden kann, wird in [11] vorgestellt. Die Schaltventile für die verschiedenen Strategien sind gekoppelt, sodass bei Aktivierung eines Modus der andere gleichzeitig deaktiviert wird. [11]

Verstellpumpen in Niederdruckanwendungen

Seit längerem ist bekannt, dass sich auch Verstellpumpensysteme wie das Load-Sensing bei Traktoren kleinerer Leistung in der Arbeitshydraulik durchsetzen. Hierfür sind Axialkolbenpumpen verfügbar, die exakt für dieses preissensible Marktsegment entwickelt wurden. Daran anschließend entwickelt sich ein Trend im Niederdruckbereich, der ebenfalls die Verwendung von Verstellpumpen in Anwendungen umfasst, in denen bislang kostengünstige Konstantpumpen eingesetzt wurden. Hierzu zählen beispielsweise Schmieröl-, Pilotdruck- oder Speisepumpen für geschlossene Kreisläufe sowie Pumpen zur Vorspannung von Hauptpumpen, welche allesamt für den jeweiligen Worst-Case ausgelegt sein müssen und somit für diverse Betriebspunkte überdimensioniert sind [12]. Um dies zu entschärfen, untersucht Danfoss aktuell den energetischen Einfluss eines bedarfsgerechten Spül-/Speisesystems für geschlossene Kreisläufe [13], vgl. **Bild 4**. Dieses besteht zum einen aus einer verstellbaren, druckgeregelten Rollenzellenpumpe und zum anderen aus einem elektrisch angesteuerten Spülventil, welches z.B. in Abhängigkeit der Öltemperatur betätigt wird. Simulationen zeigen eine Verringerung der Leistungsaufnahme um etwa die Hälfte.

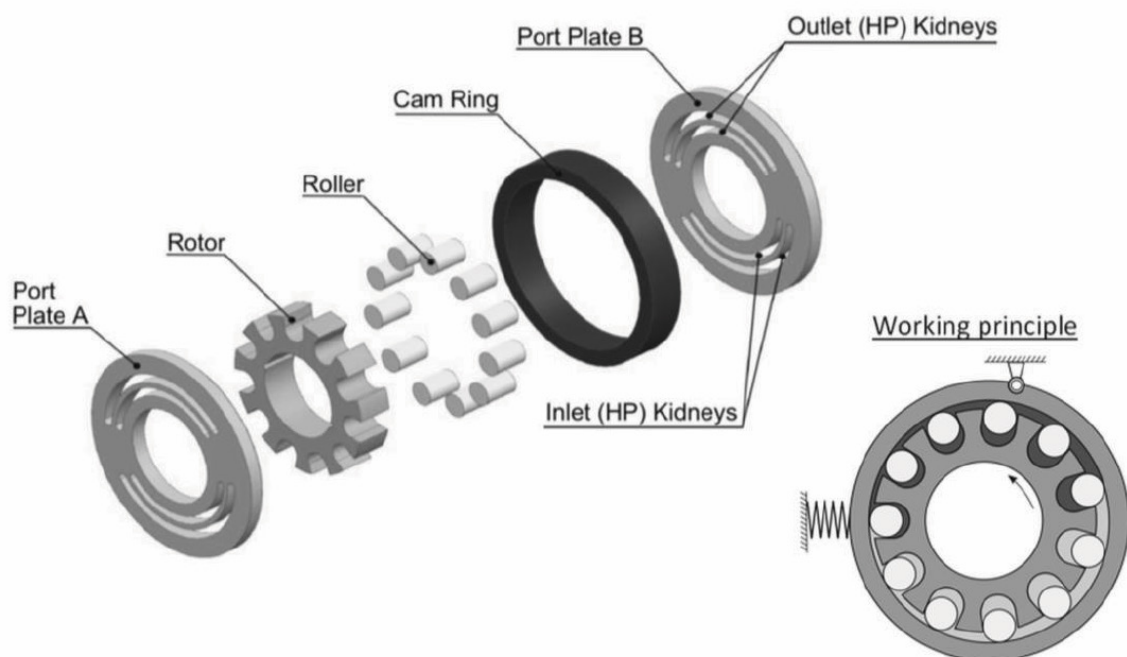


Bild 4: Aufbau und Funktionsprinzip der verstellbaren Rollenzellenpumpe [13]

Figure 4: Parts and working principle of the variable roller/vane pump [13]

Das Unternehmen Concentric AB arbeitet an einer Bereitstellung von Pilot- und Schmierdruck, die sich ebenfalls dem Bedarf anpasst [14]. Neben der mechanischen Leistungsauf-

nahme sollen hier auch die Planschverluste in einem mechanischen Getriebe reduziert werden, indem eine (elektro-)hydraulisch verstellbare Außenzahnradpumpe verwendet wird. Das Verstellprinzip beruht darauf, dass das getriebene Zahnrad radial verschiebbar ist, wodurch der Achsabstand beider Räder und somit das Fördervolumen variabel sind. Es konnten geringe Effizienzsteigerungen ermittelt werden.

Zusammenfassung

Die Verbesserung der Effizienz hydraulischer Anlagen wird durch die Verwendung immer stärker spezialisierter Systeme und Ansätze weiter verfolgt. Zum einen ist das Ziel, die Systemeigenschaften eines Load-Sensing-Systems gezielt durch indirekte elektrohydraulische Ansteuerung zu beeinflussen, zum anderen die prinzipbedingten Verluste des Systems durch eine Weiterverwendung des Druckpotentials zu mindern. Das Problem der an den Dieselmotor und somit den Gesamtprozess gebundenen Leistungsbereitstellung kann durch entkoppelte Leistungsbereitstellung oder Hybridisierung gelöst werden. Komponenten und Teilsystem werden immer spezialisierter, um weitere Funktionen zur Verfügung zu stellen oder Anforderungen nach gestiegenem Komfort oder Effizienz zu genügen. Zuletzt ist zu erwähnen, dass auch bei Subsystemen mit vergleichsweise geringen Verbesserungspotentialen der betriebene Aufwand zur Effizienzsteigerung erhöht wird.

Literatur

- [1] Kienzle, C.: MDA Presse-Roundtable, Konjunkturelle Lage Fluidtechnik, Vortrag am 26. Januar 2017.
- [2] Fackler, I.; Wichers, R.: Maschinenbau tut sich weiter schwer. In: Fluid Markt 2017, Dezember 2016, S. 10-26.
- [3] Axin, M.; Eriksson, B.; Krus, P.: A flexible working hydraulic system for mobile machines. International Journal of Fluid Power, 2016, S. 79-89
- [4] Siebert, J.; Geimer, M.: Reduction of System Inherent Pressure Losses at Pressure Compensators of Hydraulic Load Sensing Systems. 10th International Fluid Power Conference 2016, 08-10.03.16, Dresden, Bd. 1, S. 253-266
- [5] Niemöller, B.: Kombination von Eigenhydraulik und Traktorhydraulik auf einem gezogenen Kartoffelroder. 9. Kolloquium Mobilhydraulik 2016, 22./23.09.16, Karlsruhe, S. 93-106
- [6] Hartmann, K. et al.: bauma 2016: Die Highlights, O+P-Ölhydraulik und Pneumatik 6/2016, S 2-9
- [7] Vukovic, M.; Leifeld, R.; Murrenhoff, H.: STEAM-a hydraulic hybrid architecture for excavators, International Fluid Power Conference, 2016, S. 151
- [8] Bauer, F.; Feld, D.: Increasing energy efficiency of hydraulic hybrid drives by means of a multi-chamber accumulator, International Fluid Power Conference, 2016, S. 117
- [9] Lübbert, J. et al.: Pressure compensator control - a novel independent metering architecture, 10th International Fluid Power Conference - Vol. 1, 2016, Dresden, S. 231-245

- [10] Fischer, E. et al.: Performance of an electro-hydraulic active steering system, 10th International Fluid Power Conference - Vol. 1, 2016, Dresden, S. 375-386
- [11] Schumacher, A.; Rahmfeld, R.; Laffrenzen, H.: High-Performance-Antriebsstränge für leistungsstarke mobile Arbeitsmaschinen. O+P - Ölhydraulik und Pneumatik, Ausgabe 4/2016, S. 74-81
- [12] Mohn, G. et al.: Mit variablen Hydrostaten - Effizienz auch in unteren Leistungsbereichen. 9. Kolloquium Mobilhydraulik 2016, 22./23.09.16, Karlsruhe, S. 63-75
- [13] Schumacher, A. et al.: High Performance Drivetrains for Powerful Mobile Machines, 10th International Fluid Power Conference - Vol. 3, 2016, Dresden, S. 53-67
- [14] Shepherd, P.: Optimised Flow Control for Lubrication and Actuation of Medium and Heavy Duty Transmission Applications, 4. Internationale VDI-Fachkonferenz Getriebe in mobilen Arbeitsmaschinen, 2016, 21./22.06.2016, Friedrichshafen, S. 53-67

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 06.02.2017

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Neurath, Hagen; Ritters, Kerstin; Roos, Lennart; Vollmer, Thees: Hydraulische Antriebe in Traktoren und Landmaschinen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2016. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2017. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://publikationsserver.tu-braunschweig.de/get/64172>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/280.html>